

*к.т.н. Котляров А.К.  
(НПО «Красный металлист», г. Харьков, Украина)*

## **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ВЗРЫВООПАСНЫХ СМЕСЕЙ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ ШАХТ**

*Виконано аналіз існуючих методів і засобів контролю пиловидбухонебезпечності гірничих виробок шахт. Обґрунтовано метод контролю пиловидбухонебезпечності виробок за результатами вимірювання концентрації пилу в рудниковій атмосфері за ділянкою інтенсивного пиловідкладення.*

**Ключові слова:** *пиловидбухонебезпечність, засоби контролю безпеки, рудникова атмосфера, концентрація пилу, пиловідкладення.*

*Выполнен анализ существующих методов и средств контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт. Обоснован метод контроля пылевзрывоопасности выработок по результатам измерения концентрации пыли в рудничной атмосфере за участком интенсивного пылеотложения.*

**Ключевые слова:** *пылевзрывоопасность, средства контроля безопасности, рудничная атмосфера, концентрация пыли, пылеотложение.*

Одной из наиболее актуальных проблем для горной промышленности является борьба со взрывами метана и угольной пыли. Среди мероприятий, направленных на профилактику взрывов пыли, важная роль отводится контролю пылевзрывоопасности горных выработок угольных шахт. Контроль пылевзрывоопасности в настоящее время производится работниками шахт и горноспасательных подразделений в основном визуально, а при отсутствии видимых отложений сухой несвязанной угольной пыли состояние выработки определяется методом сдувания при помощи пневматической груши. Кроме того, для определения периодичности проведения противопылевых мероприятий методом сбора пыли на металлические или пластмассовые подложки определяется интенсивность пылеотложения в вентиляционных штреках [1]. Такой контроль пылевзрывоопасности эпизодическим, приближенным и не удовлетворяет современным требованиям. Учитывая это в Украине и за рубежом ведутся работы по созданию средств для постоянного автоматического контроля пылеотложений и систем контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт.

Целью настоящей публикации является анализ состояния исследований в области разработки средств контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт и разработка предложений по повышению эффективности такого контроля.

Разработанные к настоящему времени технические средства для контроля отложившейся пыли по принципу действия можно разделить на следующие группы:

- аналитические весы;
- денситометрические приборы;
- радиоизотопные измерители пылеотложения;
- виброрезонансные измерители пылеотложения;
- радиоволновые и оптические измерители.

Использование аналитических весов предполагает определение разности между массой чистой и запыленной подложки [2]. Ввиду сложности использования существующих конструкций аналитических весов в шахте данный метод не нашел применения.

Денситометрический метод основан на определении изменения оптической плотности фильтрующего материала в зависимости от количества пыли. При этом методе пыль сначала собирается на подложки, а затем с помощью аспираторов наносится на фильтрующий материал, оптическая плотность которого изменяется. При невысокой точности метод требует большого количества различных манипуляций, поэтому основанные на нем измерители не используются для контроля пылеотложений [2].

Принцип действия радиоизотопных измерителей пылеотложений основан на измерении изменения интенсивности потока бета-частиц, отраженных от чистой подложки и запыленной поверхности. Известны попытки его использования для контроля отложившейся пыли и определения зольности пыли после осланцевания выработки (КПР-1 и КПР-1М), а также для определения содержания инертной пыли в смеси (“Инфлабар” и КОР-1) [3 - 5]. Их недостатки – применение источников бета-излучения и необходимость выполнения сложных операций, связанных с подготовкой поверхности осаждения, калибровкой прибора и сбором пыли на подложки. Существующие стационарные радиоизотопные приборы имеют диапазон измерения пылеотложения в пределах 10-100 г/м<sup>2</sup> при погрешности  $\pm 20\%$  и в принципе могут быть использованы для сигнализации о взрывоопасном состоянии, однако наличие радиоизотопных источников, сложность обслуживания и дороговизна приборов ограничивают возможность их использования в условиях горных предприятий.

В виброрезонансных датчиках масса пыли, отлагающаяся на металлической мембране или пьезокристалле, изменяет резонансную час-

тоту механических колебаний чувствительного элемента [2]. Рабочая поверхность датчика является открытой для оседающей пыли, что предопределяет слабую защищенность от механических повреждений пылесобирающих чувствительных элементов, их износ материала механической колебательной системы при периодическом удалении осевшей пыли, что в конечном итоге приводит к значительной погрешности измерений.

При использовании радиоволнового метода механическая колебательная система [6] заменена электромагнитным колебательным контуром, где частота колебаний зависит от диэлектрической проницаемости пылесобирающей подложки. В целом радиоволновый метод подобен виброрезонансному, однако здесь на точность показаний влияет влажность, состав пыли и наличие царапин и повреждений на измерительной подложке. Приборы, основанные на данном методе также не получили распространения.

Общим недостатком всех перечисленных методов контроля отложившейся пыли является необходимость периодического удаления накопленной на чувствительных элементах пыли. Кроме того, все они предполагают установку датчика в какую либо одну точку выработки. Это место выработки, должно наиболее полно отражать интенсивность пылеосаждения в выработке в целом. В реальных условиях выбрать такое место практически невозможно.

Как вариант, повышающий качество контроля возможно использование нескольких точек контроля для одной выработки, однако это приводит к удорожанию системы за счет увеличения количества датчиков. В любом случае, использование датчиков пылеосаждения предполагает точечный отбор проб, что сказывается на точности измерений из-за влияния местных искажений воздушного потока вследствие размещения оборудования, движения шахтного транспорта, людей. Поэтому более точной считается косвенная оценка пылеотложения – по величине концентрации пыли в воздухе [7]. При этом в движущемся потоке воздуха контролируется вся поступающая в выработку пыль, что способствует снижению погрешности измерений.

Результаты контроля пылеотложения на основе информации о концентрации пыли и параметрах пылевоздушной среды могут служить информационной базой для оценки взрывоопасности выработки только при условии высокого уровня технологической дисциплины и неукоснительного выполнения мероприятий, направленных на предупреждение взрывов угольной пыли (например, связывание или уборка отложившейся пыли при срабатывании сигнализации о превышении допустимой величины пылеотложений). Однако при низком уровне технологической дисциплины, некачественном и несвоевременном проведении

указанных мероприятий, введении недостоверной информации о их проведении в этом случае возможно возникновение чрезвычайно опасных ситуаций. Поэтому, несмотря на возможность и все преимущества определения взрывоопасности выработки на основе информации поступающей от предложенной системы контроля пылевзрывобезопасности горных выработок [7], в настоящее время необходим поиск решений, позволяющих оценить реальное состояние выработки. Причем эта оценка не должна зависеть от субъективного фактора (например, ввода информации о выполнении мероприятий, направленных на предупреждение взрывов угольной пыли).

Как было показано в работе [8], при постоянно действующем источнике пылеобразования концентрации пыли по длине вентиляционной выработки  $C = f(l)$  описывается выражением, которое представляет собой экспоненту, имеющую асимптоту  $c$

$$C = (C_0 - c) \exp(-b \cdot l) + c, \quad (1)$$

где  $C_0$  – концентрация пыли в месте сопряжения очистной и вентиляционной выработки, мг/м<sup>3</sup>;  $b$  – коэффициент, характеризующий скорость оседания пыли на единице длины выработки, м<sup>-1</sup>;  $l$  – расстояние от места сопряжения по ходу движения воздуха, м.

При этом величина асимптоты  $c$  зависит не только от режима работы главных источников пыли - пылящего оборудования, но и взметывания уже осевшей пыли. Причем взметывание пыли с поверхности горной выработки происходит постоянно при наличии достаточного количества осевшей пыли и неизменной скорости потока в результате роста кластеров из осевших частиц. Увеличение размеров пылевого кластера приводит к росту сопротивления движущемуся потоку воздуха и взметыванию в воздух с последующим распадом на мелкие частицы, которые зависают в воздухе на длительное время [9].

Рассмотрим вклад взметывания в величину параметра  $c = N/\sigma$ , к которому асимптотически приближается концентрация пыли за участком интенсивного пылеотложения (например, на расстоянии 100 и более метров от лавы).

Значение асимптоты  $c$  (на расстоянии 100 и более метров от лавы) зависит от интенсивности пылеобразования в первичном источнике (вынос пыли с лавы) и постоянно действующего источника пылеобразования – взметывания отложившейся пыли на участке интенсивного отложения пыли. Интенсивность первичного источника пыли, существенно изменяется в зависимости от режима работы добычного комбайна и

расположения его в лаве, а также режимов работы забойного конвейера, выполнения операций по передвижке крепи и др. Диапазон изменения этой интенсивности колеблется от нуля (при прекращении процесса добычи) до максимального значения (при нахождении добычного комбайна - основного источника первичного пылеобразования вблизи места сопряжения лавы с вентиляционным штреком).

Очевидно, что максимум параметра  $c$  и его промежуточные значения определяется в этом случае суммарной мощностью двух источников пыли: первичного (вынос пыли с лавы) и вторичного (взметывания пыли). Минимальное же значение параметра  $c$  определяется только процессом взметывания пыли. Взметывание пыли с поверхности горной выработки происходит постоянно и начинает наблюдаться уже при скорости движения воздуха около 0,3 м/с [10, 11] при наличии значительного количества осевшей пыли, однако в этом случае оно имеет неустойчивый характер. Устойчивый процесс взметывания пыли наблюдается при скорости воздуха не ниже [12, 13]

$$U_{кр} \geq \frac{10,1}{S_B}, \quad (2)$$

где  $S_B$  – сечение выработки, м<sup>2</sup>.

Взметывание пыли является сложным физическим процессом и зависит от множества факторов. Определяющим среди них является количество пыли накопленной на стенках горной выработки. При отсутствии или незначительной величине пылеотложений (например, после уборки или связывания угольной пыли) взметывание практически отсутствует. По мере накопления пыли движущийся поток воздуха вначале начинает поднимать мелкие фракции с поверхности аэрогеля, а по мере накопления пыли, вследствие большой парусности образующегося конгломерата и нейтрализации скользящих зарядов, осевшие пылевые микроструктуры разрушаются, и частицы пыли вновь переходят во взвешенное состояние.

В работе [14] массу пыли, поднимаемой в атмосферу потоком воздуха, из отбитой горной массы связывают с количеством пыли в отбитой горной массе и определяют как

$$m = \varphi M, \quad (3)$$

где  $m$  – масса пыли, поднимающаяся в атмосферу из отбитой горной массы потоком воздуха, кг;

$\varphi$  – часть пыли, поднимаемой в атмосферу потоком воздуха;

$M$  – масса пыли в отбитой горной массе, кг.

Исходя из общности физики процессов взметывания пыли, следует ожидать наличия аналогичной связи и между количеством пыли накопленной на стенках выработки и интенсивностью вторичного взметывания. В таком случае по величине минимального значения концентрации пыли, измеренной за участком интенсивного пылеотложения, можно судить о количестве пыли накопленной на участке интенсивного пылеотложения, а следовательно оценить взрывоопасность выработки по пылевому фактору.

Учитывая то, что взметывание пыли зависит от множества факторов влияющих на взрывоопасность отложившейся угольной пыли, оно в определенной мере является интегральной характеристикой взрывоопасности горной выработки, а минимальное значение асимптоты  $c$  при этом:

характеризует количество накопившейся пыли на участке интенсивного отложения пыли;

зависит от дисперсного состава (крупности отложившейся пыли), то есть параметра влияющего на взрывчатые свойства пыли;

зависит от склонности пыли к взметыванию, которая определяется плотностью частиц пыли, влажностью пыли, склонностью ее к слипанию, прилипанию, агрегатированию, что важно с точки зрения оценки взрывчатых свойств отложившейся пыли.

Породная пыль, как более плотная, менее склонна к взметыванию и, наоборот, угольная – более склонна к взметыванию.

Взметывание не прекращается, если не проведена уборка или связывание осевшей пыли (не выполнен комплекс противопылевых мероприятий), то есть при контроле взрывоопасности выработки по минимальному значению концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения нельзя исключить срабатывания пороговых устройств в системе контроля взрывоопасности горной выработки, путем введения ложной информации о выполнении противопылевых мероприятий, как это возможно в случаях применения всех рассмотренных нами ранее методов контроля пылеотложения.

В то же время взметывание зависит от множества факторов, которые непосредственно не влияют на взрывоопасность горной выработки или влияние это является неоднозначным. Среди таких факторов в первую очередь следует выделить скорость движения воздуха в горной выработке. С ростом скорости движения воздуха увеличиваются интенсивность вторичного взметывания пыли и длина участка интенсивного пылеотложения [10, 11, 13], при одновременном снижении удельной величины пылеотложений на указанном участке. Поэтому при одинаковой

величине минимального значения концентрации пыли, измеренной за участком интенсивного пылеотложения, но различной скорости воздуха в выработке, уровень ее взрывоопасности будет различным (чем выше скорость, тем ниже уровень взрывоопасности выработки). Это обуславливает необходимость учета скорости воздуха (введения коррекции) при контроле взрывоопасности по концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения. Учет скорости может осуществляться автоматически (при наличии средств контроля скорости воздуха, например ИСНВ) или путем введения поправки на скорость при расчете коэффициента взрывоопасности горных выработок.

Разница между текущей и минимальной концентрациями пыли за участком интенсивного пылеотложения характеризует интенсивность первичного источника. Наличие такой информацией позволяет прогнозировать скорость накопления пыли и осуществлять предупредительную сигнализацию о необходимости проведения мероприятий, направленных на предупреждение взрывов угольной пыли.

Интегрирование концентрации во времени характеризует вынос пыли из зоны активного накопления пыли и позволяет прогнозировать изменение взрывоопасности выработок вне зоны активного накопления пыли и, исходя из этого, регламентировать периодичность проведения мероприятий направленных на уборку или связывание отложившейся пыли за зоной активного накопления пыли. Кроме того, эта информация позволяет дать гигиеническую оценку условий труда по пылевому фактору, путем расчета пылевой нагрузки горнорабочих.

**Выводы.** Изложенное выше позволяет заключить, что вторичное взметывание пыли на участке интенсивного пылеотложения является интегральной характеристикой взрывоопасности горной выработки, а величина вторичного взметывания пыли на участке интенсивного пылеотложения может быть определена посредством измерения величины минимальной запыленности воздуха за этим участком. Это позволяет принципиально изменить подход к вопросу создания системы контроля пылевзрывоопасности горных выработок шахт, одновременно используя технические средства контроля запыленности для гигиенической оценки условий труда горнорабочих и оценки взрывобезопасности выработок на участке интенсивного пылеотложения.

Среди других факторов, влияющих на взметывание и отложение пыли, следует также выделить геометрические параметры и загромождение выработки, влажность воздуха и пыли, обводненность выработки и др. Для обоснованного учета всех вышперечисленных факторов необходимо проведение дополнительных исследований и разработки методики оценки пылевзрывоопасности горной выработки по измерению концентрации пыли за участком интенсивного пылеотложения.

### **Библиографический список**

1. Инструкция по предупреждению и локализации взрывов угольной пыли // Збірник інструкцій до правил безпеки у вугільних шахтах. – Київ: Основа, 1996. – Том 1. – С. 361 – 417.
2. Нецепляев М.И., Любимова А.И., Петрухин П.М. и др. Борьба со взрывами угольной пыли в шахтах. – М.: Недра, 1992. – 298 с.
3. Определение радиоизотопным методом содержания негорючих веществ при осланцевании горных выработок / М.Д. Кривицкий, А.П. Дегтярев, Е.П. Евдокимова и др. – В кн.: Способы и технические средства обеспечения безопасных и здоровых условий труда на угольных шахтах.- Макеевка: МакНИИ, 1988. – С. 73 – 84.
4. Krzystolik P., Lebecki K. Further development of the analyzer for quick control of solid incombustible content. – Proceedings of the 21 International conference of safety in mines research institutes. – Sydney, 1985. – p. 427-432.
5. А.с. 1346815 (СССР). Прибор для измерения количества осевшей пыли / Кривицкий М.Д., Дегтярев А.П., Попсуев В.И. и др. - Оpubл. в Б.И. 1987, №39.
6. Викторов В.А., Лункин Б.В., Совлуков А.С. Высокочастотный метод измерения неэлектрических величин. - М.: Наука, 1981. – 264 с.
7. Голинько В.И., Колесник В.Е. Оценка пылевзрывобезопасности горных выработок угольных шахт по содержанию пыли в воздухе // Уголь Украины, 2001. – № 6. – С. 24 – 26.
8. Колесник В.Е. Моделирование процесса распространения пыли по длине горной выработки при постоянно действующем источнике // Науковий вісник НГА України. – 2001. – № 2. – С. 49 – 52.
9. Кирин Б.Ф., Журавлев В.П., Рыжих Л.И. Борьба с пылевыделением в шахтах. – М.: Недра, 1983. – 213 с.
10. Воронин В.Н. Основы рудничной аэрогазодинамики. – Москва-Ленинград, 1951. – 490 с.
11. Дьяков В.В., Ковалев В.И. Противопылевые вентиляционные режимы на рудниках. – М.: Недра, 1984. – 200 с.
12. Предупреждение взрывов пыли в угольных и сланцевых шахтах / П.М. Петрухин, М.И. Нецепляев, В.Н. Качан, В.С. Сергеев. – М.: Недра, 1974. – 304 с.
13. Ксенофонтова А.И., Бурчаков А.С. Теория и практика борьбы с пылью в угольных шахтах. – М.: Недра, 1965. – 231 с.
14. Поздняков Г.А. Аэродинамика перехода пыли во взвешенное состояние // Вопросы вентиляции, охлаждения воздуха, борьбы с пылью и контроль рудничной атмосферы в шахтах. – Макеевка: Донбасс, 1983. – С. 88-91.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Литвинским Г.Г.*